

# Analiza utjecajnih čimbenika pri mehaniziranoj izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva

Dino Friščić, Tomislav Poršinsky, Željko Zečić, Dinko Vusić

## Nacrtač – Abstract

Postavljen je cilj da se detaljno istraži utjecaj odabranih svojstava sirovine (promjera obloga energijskoga drva i vrste drva te udjela vode) na učinkovitost pojedinih radnih zahvata, posebice prepiljivanja i cijepanja za koje se na temelju rezultata prethodnih istraživanja očekuje utvrđivanje ovisnosti o tim svojstvima sirovine.

Radi utvrđivanja učinkovitosti mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva strojem Posch Spaltfix S-360 primijenjena je protočna metoda kronometrije. Utvrđeni su radni zahvati efektivnoga vremena i prekidi rada te izmjereni trošci vremena i ostvareni učinci. Višestrukom regresijskom analizom istražena je ovisnost troška vremena pojedinih radnih zahvata o promjeru obloga energijskoga drva i vrsti drva te udjelu vode. Konstruiran je model za izračun proizvodnosti izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na temelju signifikantnih utjecajnih parametara.

Istraživanjem je utvrđeno da promjer obloga energijskoga drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 sukladno zakonu obujma komada. Osim pozitivnoga utjecaja na proizvodnost utvrđen je i statistički značajan utjecaj promjera višemetarskoga obloga energijskoga drva na povećanje troška vremena radnoga zahvata prepiljivanja.

Značajno povećanje kakvoće, a time i vrijednosti istraživanoga ogrjevnoga drva moguće je postići optimiziranjem prirodnoga prosušivanja sirovine ili proizvoda radi dostizanja 25 % i manje udjela vode. No, i prirodno prosušivanje i sortiranje ulazne sirovine radi ujednačivanja dimenzija konačnoga proizvoda zahtijevaju jednoličnu i stalnu dobavu dostatne količine sirovine.

Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnoga sustava čiju okosnicu čini istraživani procesor, ali i upozoriti na opće zakonitosti utjecaja odabranih svojstava sirovine na očekivanu proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva procesorima.

**Ključne riječi:** promjer, prepiljivanje, cijepanje, obična bukva, obični grab, kakvoća proizvoda

## 1. Uvod – Introduction

Ogrjevno se drvo stoljećima proizvodilo na tradicionalan način izradom cjepanica, oblica i sječenice. No, već 1979. godine normom koja propisuje svojstva ogrjevnoga drva (JUS DB.5.023) dopušta se mogućnost izrade ogrjevnoga drva u obliku »oblovine za ogrjev« duljine preko 1 m. Naime, temeljem rezultata znanstvenih istraživanja utvrđena je ekonomska (Tomanić 1974, Tomičić 1975, Tomičić 1983, Tomičić 1984), ergo-

nomska (Tomanić 1974) i energijska (Bojanin i dr. 1990) nepogodnost tradicionalnoga načina izrade ogrjevnoga drva u obliku jednometarskih cjepanica. Osim nepovoljnoga troška vremena, energije i kapitala prilikom izrade ogrjevnoga drva na tradicionalan način, poseban je problem bio i transport izrađenih jednometarskih cjepanica i oblica, ponajprije primarni, koji se u prošlosti oslanjao na značajan angažman samarice pri iznošenju, ali i daljinski s obzirom na nužnost ručnoga utovara i istovara. Prijelazno je rješenje potraženo

konstrukcijom priključaka za poljoprivredne traktore (nosivih dasaka i poluprikolica) i uređaja za paketiranje (Tomičić 1975). No, već je tada prepoznata i nužnost redefiniranja cjelokupnoga sustava pridobivanja drva radi mehanizacije privlačenja prostornoga drva i radi jednoličnoga zapošljavanja kapaciteta na privlačenju tijekom proizvodne godine te osiguravanja stalne dobave svježih i jednoličnih sirovina industriji celuloze i industriji drvnih ploča (Vusić i Đuka 2015).

Ogrjevno drvo izrađeno u višemeterskom obliku tražilo je i značajniji angažman krajnjega korisnika prije same uporabe. Prerezivanje na željenu duljinu obavljano je motornim pilama lančanicama te tračnim i kružnim pilama različite konstrukcijske izvedbe, a cijepanje najčešće ručnim alatima ili različitim traktorskim cjepačima. Terezin i Vinković (1983) prepoznaju navedene probleme i predlažu izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva na pomoćnom ili na glavnom stovarištu. Iako u svom radu opisuju cijeli lanac dobave, a svoje tvrdnje argumentiraju i izračunom znatnih ušteda, predloženi proizvodni sustav nije značajnije oživio u praksi. Najvjerojatniji razlog navedenom leži u spoznaji da lokalno stanovništvo u seoskim krajevima potrebe za ogrjevnim drvom najčešće namiruje samoizradom u državnim ili vlastitim šumama, a stanovništvo se u gradovima uglavnom oslanja na komfornije energente za grijanje.

Osim tradicionalnoga načina proizvodnje, prodaje i uporabe jednometarskoga (i lokalno prerađenoga višemeterskoga) ogrjevnoga drva, posljednjih godina veći broj poduzeća započinje proizvodnju kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva (Vusić i dr. 2015). Iako se većina proizvodnje plasira na izvozna tržišta, i domaćim je potrošačima danas dostupno kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo na paletama (najčešće 1 × 1 × 1,8 m), koje s obzirom na dimenzije (duljine 25 cm, 33 cm i 50 cm) predstavlja oblik čvrstoga biogoriva pogodan za neposrednu uporabu. Kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo duljine 50 cm koristi se za loženje sustava centralnoga grijanja obiteljskoga tipa, dok se za loženje kamina i manjih peći koristi ogrjevno drvo duljina od 25 cm i 33 cm. Sirovinu za preradu čini višemetersko oblo energijsko drvo, najčešće običnoga graba i obične bukve, a potom i drugih vrsta tvrdih listača. Prerada se uglavnom obavlja u specijaliziranim pogonima čiju okosnicu čini procesor za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva.

Procesori za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva konstrukcijski se razlikuju s obzirom na planiranu lokaciju uporabe (stacionarni ili nošeni), pogon (elektromotor ili kardansko vratilo traktora), izvedbu uređaja za prepiljivanje (pila lančanica ili kružna pila) i stupanj automatizacije. Prema stupnju automatizacije razlikuju se potpuno automatizirani procesori

i djelomično automatizirani kod kojih je potrebno pomicanjem ručke na kontrolnoj jedinici obaviti cijepanje. S obzirom na varijabilnost promjera ulazne sirovine i željenoga promjera konačnoga proizvoda pojedini tipovi procesora imaju mogućnost prilagodbe visine noža cjepača i promjene broja i rasporeda oštrica.

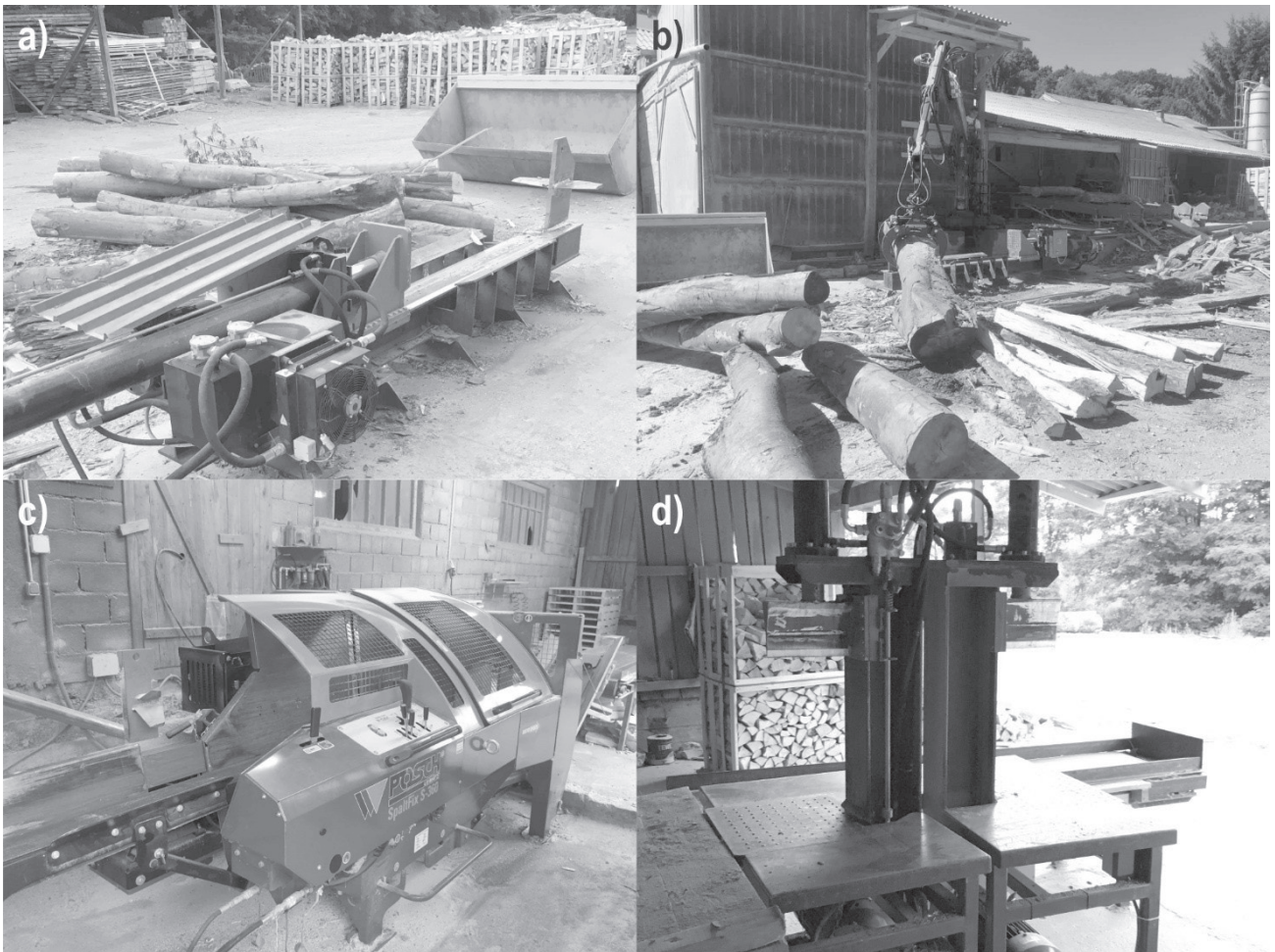
Na odabir prikladnoga procesora najveći utjecaj ima nabavna cijena stroja s obzirom na planirani obujam godišnje proizvodnje i usklađenost tehničkih svojstava stroja (najvećega promjera prepiljivanja i snage cijepanja) sa svojstvima postojeće sirovine. U planu investicija presudna je i moguća proizvodnost procesora koju je donekle moguće procijeniti na temelju podataka proizvođača ili iskustava iz uporabe sličnih strojeva. Iskustveni podaci, s obzirom na značajnu varijabilnost sirovine i raznolika tehnička rješenja, najčešće su također samo procjena stvarnih mogućnosti u stvarnom proizvodnom sustavu. Poseban je problem i prilično malen broj znanstvenih objava usporedivih istraživanja proizvodnosti i troškova rada strojeva za izradu kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva te kakvoće proizvedenoga ogrjevnoga drva (Kärhä i Jouhio 2009). Dostupni rezultati recentnih znanstvenih istraživanja (Lindros 2008, Kärhä i Jouhio 2009, Manzone i Spinelli 2014, Cavalli i dr. 2014, Vusić i dr. 2015) potvrđuju prethodno spomenutu varijabilnost rezultata proizvodnosti i upućuju na nužnost nastavka detaljnijih istraživanja utjecaja svojstava sirovine na učinkovitost pojedinih radnih zahvata i proizvodnost cjelokupnoga proizvodnoga sustava.

Cilj je istraživanja da se detaljno ispita utjecaj odabranih svojstava sirovine (promjera obloga energijskoga drva i vrste drva te udjela vode) na učinkovitost pojedinih radnih zahvata, posebice *prepiljivanja* i *cijepanja* za koje se na temelju rezultata prethodnih istraživanja očekuje utvrđivanje ovisnosti o tim svojstvima sirovine, posebice u slučaju postojanja mogućnosti potpuno odvojene analize radnih zahvata s obzirom na konstrukciju procesora (odnosno izostanak preklapanja radnih zahvata.) Rezultati istraživanja trebaju poslužiti optimizaciji proizvodnoga sustava čiju okosnicu čini istraživani procesor, ali i upozoriti na opće zakonitosti utjecaja odabranih svojstava sirovine na očekivanu proizvodnost izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva procesorima.

## 2. Materijal i metode – *Material and Methods*

Istraživanje je provedeno u lipnju 2016. godine u pogonu za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva tvrtke »Pilana proizvodnja i trgovina vl. Vlado Friščić«, smještenom u Dubravi Križovljanskoj nedaleko od Va-





**Slika 1.** Strojevi u proizvodnom sustavu: a) horizontalni cjepač, b) utovarni kran, c) procesor, d) vertikalni cjepači  
**Fig. 1** Machines in the production system: a) horizontal splitter; b) loading crane; c) processor; d) vertical splitters

raždina. Proizvodni se sustav temelji na horizontalnom cjepaču za višemetarsko oblo energijsko drvo većih promjera (slika 1a) i utovarnom kranu (slika 1b), utovarnoj rampi (i lančanom transporteru), djelomično automatiziranom procesoru Posch Spaltfix S-360 (slika 1c) i dvama vertikalnim cjepačima (slika 1d) za ujednačivanje dimenzija (promjera) izlaznoga proizvoda.

Proces prerade višemetarskoga obloga energijskoga drva u kratko rezano i cijepano ogrjevno, u istraživanom pogonu, počinje transportom sirovine sa stovarišta u prostor dosega utovarnoga kрана. S obzirom na dostupnu količinu sirovine (limitiranu zalihu) i povoljnu potražnju za gotovim proizvodom sortiranje prema dimenzijama i trajanju prosušivanja najčešće nije moguće provesti. Štoviše, kratko se rezano i cijepano ogrjevno drvo izrađuje i iz sirovine koja promjerom nadmašuje mogućnost procesora pa je nužno obaviti primarno cijepanje horizontalnim cjepačem (navedena sirovina nije bila predmet istraživanja). Utovarnim se

kranom obavlja utovar višemetarskoga obloga energijskoga drva na utovarnu rampu. Slijedi transport komada višemetarskoga obloga energijskoga drva lančanim transporterom. Transport se nastavlja tračnim transporterom (koji je sastavni dio procesora) prema mjestu na kojem komad višemetarskoga obloga energijskoga drva uglavljuje klin prije samoga prepiljivanja kako se ne bi nenadano pomicao. Prepiljivanje na željenu duljinu obavlja se kružnom pilom, a nakon toga prepiljeni komad obloga drva pada u položaj u kojem je u ravnini s hidrauličnim cilindrom. Zatim hidraulični potisnik obavlja cijepanje komada prepiljenoga obloga drva potiskivanjem kroz sječivo. Komadi tako proizvedenoga kratko rezanoga i cijepanoga drva padaju (ili ih potiskuje sljedeći cijepani komad) na izlazni transporter (s prečkama) koji ih transportira do mjesta na kojem se obavlja razvrstavanje po promjeru i slaganje u palete. Uzastopnim transportom tračnim transporterom, prepiljivanjem na željenu duljinu i cij-

epanjem komad se višemetarskoga obloga energijskoga drva prerađuje u komade kratko rezanoga i cijepanoga drva. Iako se sječivo cjepača može prilagoditi promjeru ulazne sirovine, s obzirom na čest izostanak sortiranja po promjeru ulazne sirovina, a sukladno specifikaciji narudžbe, pojedine je komade nužno dodatno usitniti. Dodatno se usitnjavanje obavlja vertikalnim cjepačem (nije predmet ovoga istraživanja).

Istraživani stroj za izradu kratko rezanoga i cijepanoga drva proizvod je austrijske tvrtke »Posch« sa sjedištem u Leibnitzu. Posch Spaltfix S-360 pripada kategoriji nošenih procesora, stoga može biti pokretan pomoću kardanskoga vratila traktora ili pomoću elektromotora. Sastavni dijelovi procesora su: tračni transporter za dopremu obloga energijskoga drva u položaj za prepiljivanje, uređaj za prepiljivanje (kružna pila WIDIA), hidraulični cilindar potisne snage 12 t, izlazni transporter (s prečkama) te kontrolna i upravljačka jedinica, uređaj za usisavanje piljevine i elektromotor snage 22 kW. Duljina procesora iznosi 370 cm, širina 190 cm, visina 160 cm, a masa procesora iznosi 1260 kilograma. Nabavna cijena novoga procesora iznosi  $\approx$  160 000 kn. Procesor je konstruiran za izradu komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva u duljinama od 25 cm do 50 cm, a najveći promjer obloga energijskoga drva koji se procesorom može prerađivati iznosi 35 cm.

Tijekom istraživanja prerađivano je višemetarsko oblo energijsko drvo obične bukve (*Fagus sylvatica* L.) i običnoga graba (*Carpinus betulus* L.) ujednačene duljine  $4,0 \pm 0,1$  m (s ciljem ograničavanja varijabilnosti utjecajnih čimbenika). Kratko rezano i cijepano drvo izrađivano je u ciljanim duljinama od 25 cm.

Komadi višemetarskoga obloga energijskoga drva odabrani su i prerađivani nasumično, bez razvrstavanja na debljinske razrede. Prethodno je svakomu komadu višemetarskoga obloga energijskoga drva izmjeren promjer i određena vrsta drva, a podaci su pridruženi evidencijskomu broju kojim je obilježeno čelo svakoga komada.

Istraživanje učinkovitosti izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva provedeno je snimanjem digitalnom kamerom uz naknadnu analizu snimaka (očitanje na 0,01 s). Protočnom metodom kronometrije utvrđeni su utrošci vremena, raščlanjeni na radne zahvate efektivnoga vremena te vremena prekida.

Granice opažanja za promatrani ciklus izrade (jedan komad višemetarskoga obloga energijskoga drva) postavljene su na trenutak u kojem počinje pomicanje komada višemetarskoga obloga energijskoga drva po utovarnoj rampi kao početak ciklusa izrade te na završetak potiskivanja zadnjega prerezanoga komada hidrauličnim potisnikom kroz sječivo kao kraj ciklusa



Slika 2. Položaj digitalne kamere prilikom snimanja

Fig. 2 Position of digital camera when recording

izrade. Fiksažnom je točkom ciklus izrade podijeljen na radne zahvate:

- ⇒ *pomicanje* komada obloga energijskoga drva po utovarnoj rampi koje završava početkom transporta
- ⇒ *transport* komada obloga energijskoga drva ulaznim transporterom (lančanim i tračnim) do uređaja za prepiljivanje koji završava trenutkom u kojem počinje prepiljivanje
- ⇒ *prepiljivanje* koje završava početkom pomicanja hidrauličnoga cilindra pri cijepanju
- ⇒ *cijepanje* koje traje do završetka potiskivanja prepiljenoga komada drva kroz sječivo.

Vremena *prekida* izdvojena su iz efektivnih vremena i posebno evidentirana.

Svaki je radni zahvat (i vrijeme prekida) snimljen i evidentiran u bazi podataka »Excel« na razini komada višemetarskoga obloga energijskoga drva poznatoga srednjega promjera i vrste drva. Za svaki komad obloga energijskoga drva izračunat je zbroj prethodno analiziranih uzastopnih radnih zahvata raščlanjenih na razinu jednoga komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva duljine 25 cm. Baza je podataka pročišćena izostavljanjem ekstremnih vrijednosti (odstupanje veće od tri standardne devijacije od aritmetičke sredine). Statistička je obrada nastavljena u programskom paketu »Statistica«. Deskriptivnom statističkom analizom utvrđene su prosječne, najmanje i najveće vrijednosti utroška vremena pojedinih radnih zahvata po vrsti drva. Provedene su višestruke regresijske analize ovisnosti utroška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi, *transport* ulaznim transporterom, *prepiljivanje* i *cijepanje* o promjeru komada obloga energijskoga drva i vrsti



drva (koja je prikazana binarnom varijablom 0 ∨ 1). Utvrđena je ovisnost utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru komada obloga drva i vrsti drva te ovisnost utroška vremena *cijepanja* o vrsti drva. Radi preglednosti u grafičkom je obliku prikazana samo linearna ovisnost utroška vremena radnih zahvata *prepiljivanje* i *cijepanje* o promjeru komada obloga energijskoga drva pojedine istraživane vrste drva. Za radne zahvate *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom (za koje nije utvrđena ovisnost ni o promjeru komada obloga drva ni o vrsti drva) proveden je *t*-test za nezavisne uzorke koji je potvrdio da ne postoji statistički značajna razlika u utrošku vremena navedenih radnih zahvata između istraživanih vrsta drva.

Model za izračun proizvodnosti izrađen je na temelju pripadajućih regresijskih jednadžbi varijabilnoga vremena (za *prepiljivanje* i *cijepanje*) i prosječnoga utroška ostaloga vremena te očekivanoga obujma proizvoda (na temelju dimenzija ulazne sirovine zanemarujući otpad koji nastaje prilikom *prepiljivanja*).

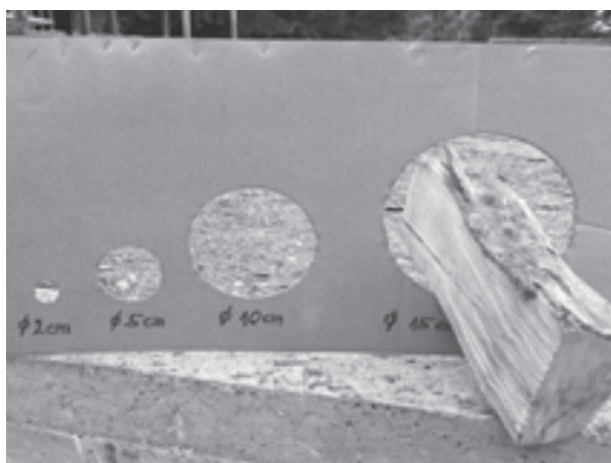
Vrijeme prekida nije podrobno analizirano jer zbog trajanja snimanja ne daje stvarni uvid u strukturu dodatnoga vremena. No, analizom prekida, prilikom obrade snimaka, uočeno je da se glavnina evidentiranoga vremena odnosila na povremeni rad. Stoga su svi evidentirani prekidi priznati i u modelu za izračun proizvodnosti dodani efektivnomu vremenu u obliku jedinstvenoga faktora dodatnoga vremena za obje vrste drva.

Tijekom snimanja od svakoga prerađenoga komada višemetarskoga obloga energijskoga drva slučajnim su odabirom izdvojena po četiri komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Svakomu je komadu izmjerena duljina u centimetrima i određen promjer u centimetrima sukladno HRN EN ISO 17225-5 (slika 3) te evidentirana prisutnost/odsutnost tragova truleži. Nadalje, slučajnim je odabirom za svaku vrstu drva uzorkovano dvadeset komada kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prvotnoga uzorka radi utvrđivanja tehničkoga masenoga udjela vode. Navedeni su uzorci dodatno usitnjeni vertikalnim cjepačem i podvrgnuti gravimetrijskoj analizi sukladno normi HRN EN ISO 18134-2. Laboratorijske su analize provedene u Laboratoriju za šumsku biomasu Šumarskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

### 3. Rezultati – Results

#### 3.1 Učinkovitost izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva – Efficiency of chopped firewood production

Tijekom ukupno snimljenih 99,55 min prerađeno je 37 komada višemetarskoga obloga energijskoga



**Slika 3.** Pojednostavljena metoda mjerenja promjera kratko rezanoga i cijepanoga drva

**Fig. 3** Simplified method of measuring the diameter of chopped firewood

drva obične bukve (prosječnoga promjera  $19,4 \pm 4,2$  cm) ukupnoga obujma  $4,547$  m<sup>3</sup>, što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,74$  m<sup>3</sup>/h (uključujući otpad). U strukturi ukupno snimljena vremena  $3,9$  % utrošeno je na *pomicanje* po utovarnoj rampi,  $15,1$  % na *transport*,  $22,6$  % na *prepiljivanje*,  $32,2$  % na *cijepanje* i  $26,1$  % na *prekide* rada. Prilikom izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva obične bukve zabilježeno je ukupno  $85$  prekida. Najveći dio prekida otpada na namještanje komada višemetarskoga obloga energijskoga drva na ulaznom transporteru kako bi bilo moguće njegovo transportiranje i *prepiljivanje* te na namještanje zadnjega *prepiljenoga* komada obloga energijskoga drva kako bi ga zahvatio klin cjepača i kako bi se omogućilo *prepiljivanje* na željenu duljinu.

Tijekom ukupno snimljenih  $132,64$  min prerađen je  $51$  komad višemetarskoga obloga energijskoga drva običnoga graba (prosječnoga promjera  $18,4 \pm 3,8$  cm) ukupnoga obujma  $5,645$  m<sup>3</sup>, što čini ostvarenu proizvodnost od  $2,55$  m<sup>3</sup>/h (uključujući otpad). U strukturi ukupno snimljena vremena  $3,5$  % utrošeno je na *pomicanje* po utovarnoj rampi,  $15,2$  % na *transport*,  $15,3$  % na *prepiljivanje*,  $39,5$  % na *cijepanje* i  $26,5$  % na *prekide* rada. Prilikom izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva običnoga graba zabilježena su ukupno  $102$  prekida od čega najveći dio otpada na iste prekide – povremene radove kao i pri preradi obloga energijskoga bukova drva.

Provedenim višestrukim regresijskim analizama, očekivano, nije utvrđena ovisnost utroška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi ni o promjeru ( $p=0,24298$ ), ni o vrsti višemetarskoga obloga energijskoga drva

**Tablica 1.** Rezultati *t*-testa ovisnosti utroška vremena za *pomicanje* i *transport* o vrsti drva

**Table 1** Results of time consumption for moving and transport vs. wood species *t*-test

Radni zahvat Work element	Prosječna vrijednost Average value		<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Uzorak, N Sample, N		Standardna devijacija Standard deviation		<i>F</i> -ratio variances	<i>P</i> variances
	B	G				B	G	B	G		
Pomicanje – Moving, s	6,172	5,521	0,4936	83	0,6229	34	51	6,0385	5,9066	1,0452	0,8726
Transport – Transport, s	24,028	23,645	0,4594	83	0,6472	34	51	3,8973	3,6813	1,1208	0,7036

B – obična bukva – *European beech*; G – obični grab – *European hornbeam*

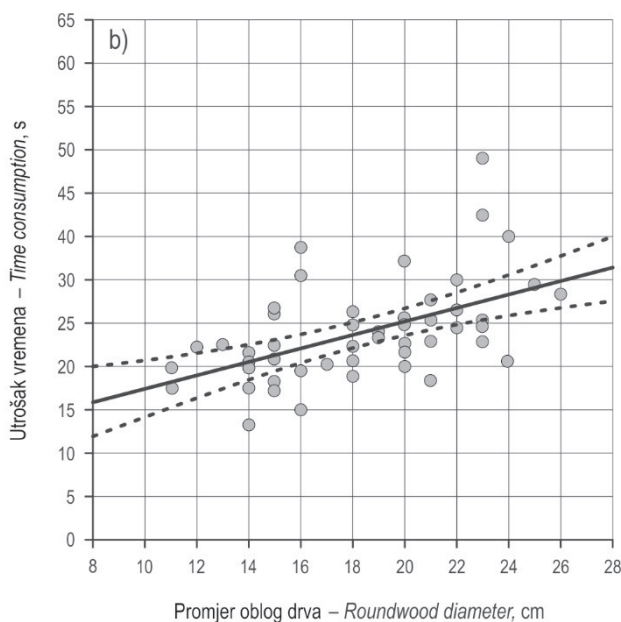
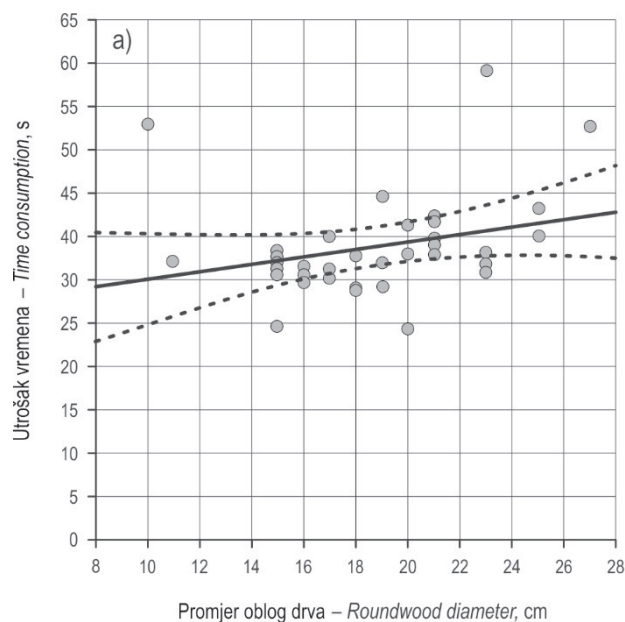
( $p = 0,66950$ ), ni kao utroška vremena za *transport* o istim nezavisnim varijablama ( $p = 0,67901$ ;  $p = 0,63283$ ). Razlozi vjerojatno leže u logičnoj pretpostavci većega utjecaja moguće zakrivljenosti komada i pojavnosti kvrga od samoga promjera komada, ali i u necikličkom pojavljivanju i evidentiranju utroška vremena za *pomicanje* (odnosno u evidentiranju zastoja pri radnom zahvatu u vremena prekida). Utrošak vremena za *transport* inače logično ovisi ponajprije o duljini obloga energijskoga drva, utjecajnom čimbeniku kojemu je postavkama pokusa ograničena varijabilnost ( $4,0 \pm 0,1$  m).

Rezultati *t*-testa potvrđuju nepostojanje statistički značajne razlike između utroška vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom s obzirom na vrstu višemetarskoga obloga energijskoga drva (tablica 1). Stoga su u modelu za izračun proizvodnosti korištene prosječne vrijednosti zajedničkoga skupa podataka: za *pomicanje* po utovar-

noj rampi 5,8 s/kom., a za *transport* ulaznim transporterom 23,8 s/kom.

Ovisnost utroška vremena za prepiljivanje o promjeru komada obloga drva prikazana je grafički na slici 4a za višemetarsko oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 4b za višemetarsko oblo energijsko drvo običnoga graba. Rezultati višestruke regresijske analize statistički potvrđuju evidentnu ovisnost utroška vremena o promjeru, ali i o vrsti obloga energijskoga drva (tablica 2), a jednadžbom izjednačenja objašnjeno je 51,61 % varijabilnosti utroška vremena.

Evidentna neovisnost utroška vremena za cijepanje o promjeru komada obloga drva, prikazana grafički na slici 5a za oblo energijsko drvo obične bukve, odnosno na slici 5b za oblo energijsko drvo običnoga graba, potvrđena je i preliminarnom višestrukom regresijskom analizom ( $p = 0,5464$ ) koja pak ukazuje na signifikantan utjecaj vrste drva ( $p = 0,00007$ ). Izostavljanjem



**Slika 4.** Odnos utroška vremena za *prepiljivanje* i promjera oblovine; a) obična bukva, b) obični grab

**Fig. 4** Time consumption for cross-cutting vs. roundwood diameter; a) *European beech*; b) *European hornbeam*

**Tablica 2.** Rezultati višestruke regresijske analize ovisnosti utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru i vrsti obloga energijskoga drva  
**Table 2** Multiple regression results of dependence of time consumption for cross-cutting on diameter and species of energy roundwood

Varijabla – Variable	$\beta$	Standardna pogreška $\beta$ Std. err. $\beta$	$B$	Standardna pogreška $B$ Std. err. $B$	t (82)	p-razina p-level
Odsječak na osi y Intercept			21,83110	3,030620	7,20351	<0,000001
Promjer obloga energijskoga drva ( $d_s$ ), cm Energy roundwood diameter ( $d_s$ ), cm	0,319095	0,076940	0,63640	0,153449	4,14730	0,000082
Vrsta drva (VD); (0 – bukva ∨ 1 – grab) Wood species (VD); (0 – beech ∨ 1 – hornbeam)	-0,626073	0,076940	-9,65167	1,186128	-8,13712	<0,000001
N = 85 R = 0,7184; R <sup>2</sup> = 0,5161; Adj. R <sup>2</sup> = 0,5043 F(2,82) = 43,726; p < 0,0001; Std. err. est.: 5,3490						

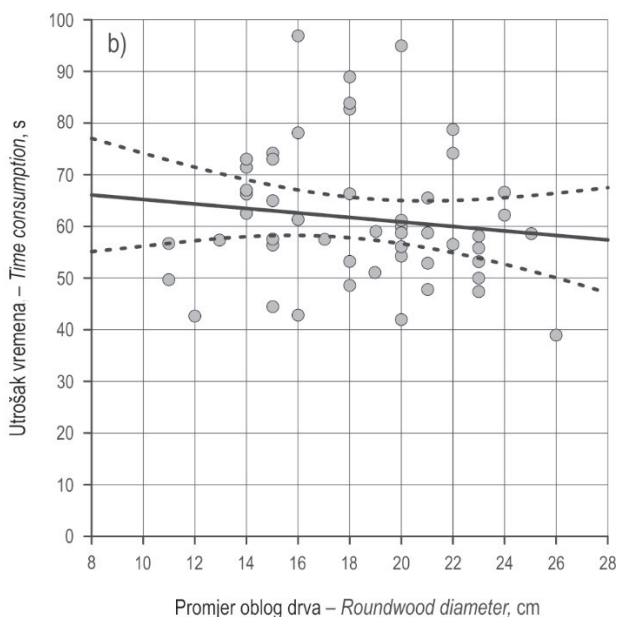
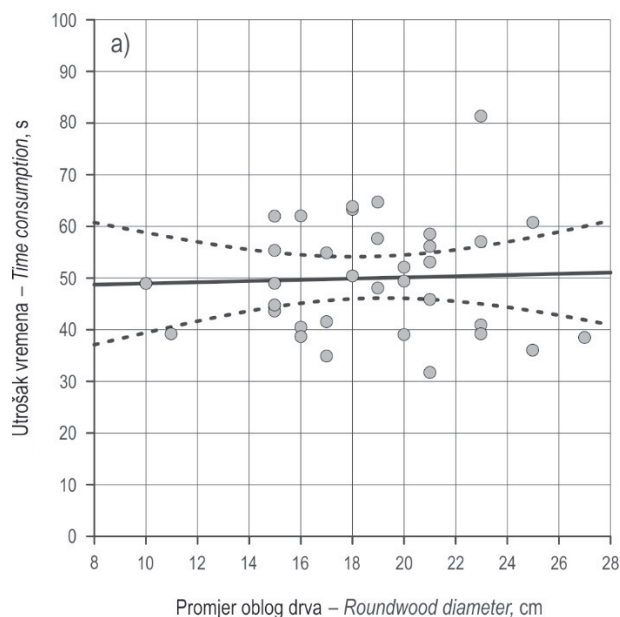
nesignifikantnoga člana jednadžbe (promjera obloga energijskoga drva) utjecaj se vrste drva za praktičnu primjenu u modelu za izračun proizvodnosti može prikazati jednadžbom (1), gdje je  $t_c$  utrošak vremena za cijepanje, a VD binomna varijabla odrednica vrste drva (0 – bukva ∨ 1 – grab).

$$t_c = 50,013 + 11,6704 \times VD \left[ \frac{s}{kom} \right] \quad (1)$$

( $r = 0,4224$ ; F (1,83) = 18,024;  $p < 0,00006$ ; Std. err. est.: 12,416)

Model za izračun proizvodnosti (2) konstruiran je na temelju prosječnih vrijednosti utroška vremena za

*pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom te regresijskih jednadžbi za izračun utroška vremena za *prepiljivanje* u ovisnosti o promjeru ( $d_s$ ) i vrsti (VD) obloga energijskoga drva i izračun utroška vremena za *cijepanje* u ovisnosti o vrsti energijskoga drva (VD). U model je uvršten i faktor dodatnoga vremena (koji je uključivao sve evidentirane prekide) u iznosu 1,36. Proizvedena količina kratko rezanoga i cijepanoga drva izračunata je Huberovom formulom na temelju duljine obloga energijskoga drva od 4,0 m (sukladno postavkama pokusa) i promjerima obloga energijskoga drva ( $d_s$ ) u rasponu uzorka (zanemarujući gubitke pri prepiljivanju). Proizvodnost je iskaza-



**Slika 5.** Odnos utroška vremena za *cijepanje* i promjera oblovine; a) obična bukva; b) obični grab

**Fig. 5** Time consumption for splitting vs. roundwood diameter; a) European beech; b) European hornbeam

$$P = \frac{3600}{1,36 \times (5,8 + 23,8 + 21,831 + 0,636 \times d_s - 9,652 \times VD + 50,013 + 11,6704 \times VD)} \times \frac{d_s^2 \times 3,14 \times 4}{40000} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \quad (2)$$

na u metrima kubnim po radnom satu (uključujući i prekide).

Modelom izračunata proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 kreće se od 0,77 m<sup>3</sup>/h za duljinu komada obloga energijskoga drva obične bukve 4,0 m i promjer 10 cm do 4,76 m<sup>3</sup>/h za promjer obloga energijskoga drva obične bukve 26 cm. Pri izradi kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva običnoga graba proizvodnost je prosječno manja za 1,8 %, odnosno za iste, prethodno navedene dimenzije kreće se u rasponu od 0,76 m<sup>3</sup>/h do 4,68 m<sup>3</sup>/h.

### 3.2 Kakvoća izrađenoga kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva – *Quality of produced chopped firewood*

Tehnički maseni udio vode bukova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prosječno je iznosio 39,20 ± 3,26 %, a tehnički maseni udio vode grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva prosječno je iznosio 33,81 ± 2,85 %.

Prosječna duljina bukova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva iznosila je 25,25 ± 0,61 cm (najmanja izmjerena duljina iznosila je 22 cm, a najveća 27 cm). Slični su rezultati utvrđeni i mjerenjem duljina grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Prosječna duljina iznosila je 25,30 ± 0,50 cm, najmanja duljina iznosila je 23,2 cm, a najveća 27,6 cm.

Prema izmjerenim promjerima 22 % komada bukova kratko rezanoga i cijepanoga drva pripada razredu D15+, 75 % komada razredu D15, a 3 % komada ulazi u razred D10. Slična je distribucija razreda promjera utvrđena i mjerenjem komada grabova kratko rezanoga i cijepanoga drva; 23 % komada ubraja se u razred D15+, 71,5 % komada u razred D15, a 5,5 % u razred D10.

Pet komada bukova kratko rezanoga i cijepanoga drva (2,5 %) imalo je tragove truleži. Tragovi su truleži utvrđeni na dvostruko većem broju komada grabova kratko rezanoga i cijepanoga drva.

Kod svih je uzorkovanih komada kratko rezanoga i cijepanoga drva površina presjeka bila jednolična i svi se komadi mogu definirati kao cijepanice.

## 4. Discussion – *Rasprava*

Uvažavajući rezultate prethodnih istraživanja izrade kratko rezanoga i cijepanoga drva procesorima (Cavalli i dr. 2014, Vusić i dr. 2015) postavke su pokusa

prilagođene uklanjanju utjecaja koji na utrošak vremena prepiljivanja i cijepanja (promatranoga kao jedinstveni radni zahvat) čini različita duljina višemetarskoga obloga energijskoga drva. Tako je istraživačka pozornost usmjerena primarno na utjecaj koji promjer višemetarskoga obloga energijskoga drva ima na utrošak vremena za *prepiljivanje*. Prethodnim je istraživanjima utvrđeno da utrošak vremena za cijepanje ovisi u prvom redu o brzini hidrauličnoga potisnika u komori za cijepanje, a ne o veličini sekcije koju treba iscijepati (Cavalli i dr. 2014). Stoga je izostanak statistički značajne ovisnosti utroška vremena za *cijepanje* o promjeru višemetarskoga obloga energijskoga drva, utvrđen ovim istraživanjem, očekivan. Posebice je značajan rezultat iskaz ovisnosti utroška vremena za *prepiljivanje* o promjeru višemetarskoga obloga energijskoga drva prikazan pripadajućom regresijskom jednadžbom. Navedeno omogućuje realniji izračun moguće proizvodnosti pomoću prikazanoga matematičkoga modela jer on, osim poznatoga pozitivnoga utjecaja promjera obloga energijskoga drva na proizvodnost procesora sukladno zakonu obujma komada (Speidel 1952), vrednuje i povećani utrošak vremena za *prepiljivanje* obloga drva većeg promjera. Utvrđene statistički značajne razlike pri utrošku vremena za *cijepanje* u ovisnosti o vrsti drva (11,67 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada obloga energijskoga drva obične bukve) mogu se objasniti prosječno 5,39 % manjim udjelom vode grabova kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Slično zaključuju i Cavalli i dr. (2014) navodeći da je preradom svježega energijskoga drva moguće smanjiti ukupni utrošak energije potreban za izradu. Rezultati statistički značajno različita utroška vremena za *prepiljivanje* u ovisnosti o vrsti drva (9,65 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada obloga energijskoga drva običnoga graba) gotovo izjednačuju ukupni utrošak vremena izrade pa su i razlike u proizvodnosti s obzirom na vrstu drva minimalne. Za donošenje čvršćih zaključaka o utjecaju vrste drva na utrošak vremena za *prepiljivanje* i *cijepanje* bilo bi nužno ujednačiti sirovinu s obzirom na udio vode i ostala fizikalna svojstva, što je u realnim proizvodnim uvjetima prilično teško postići. Stoga bi buduća istraživanja bilo uputnije usmjeriti sirovini iste vrste drva (i sličnih svojstava drva – ponajprije zakrivljenosti, usukanosti i pojavnosti kvrga), a što veće varijabilnosti udjela vode.

S obzirom na navedene rezultate kakvoće kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva, a radi po-



stizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN ISO 17225-5, nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete razvrstati u jednolične razrede dimenzija (85 % količine mora pripadati jednomu razredu promjera, a odstupanje duljine smije biti  $\pm 2$  cm uz 15 % količine u duljinama kraćim od graničnih) te ovisno o željenom razredu ukloniti komade s tragovima truleži. U slučaju većih narudžbi ujednačene dimenzije promjera, a s obzirom na ograničenu zalihu sirovine, pojedine je komade moguće dodatno iscijepati prije slaganja (uz dodatni trošak vremena i povećanje jediničnoga troška izrade). S obzirom na navedeno na kraju linije procesora, a prije slaganja u palete instalirana su dva vertikalna hidraulična cjepača.

## 5. Zaključci – Conclusions

Istraživanjem je utvrđeno da promjer obloga energijskoga drva pozitivno utječe na proizvodnost istraživanoga procesora Posch Spaltfix S-360 sukladno zakonu obujma komada. Osim pozitivnoga utjecaja na proizvodnost utvrđen je i statistički značajan utjecaj promjera višemetarskoga obloga energijskoga drva na povećanje utroška vremena radnoga zahvata *prepiljivanje*.

Detaljnijom analizom utroška vremena radnih zahvata utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika pri utrošku vremena za *pomicanje* po utovarnoj rampi i *transport* ulaznim transporterom s obzirom na vrstu drva. Značajne razlike nisu utvrđene ni u postotnim iznosima vremena prekida, odnosno povremenih radova.

Utvrđene su statistički značajne razlike pri utrošku vremena za *prerezivanje* (9,65 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada višemetarskoga obloga energijskoga drva običnoga graba) i pri utrošku vremena za *cijepanje* (11,67 sekundi manji utrošak vremena pri preradi komada višemetarskoga obloga energijskoga drva obične bukve).

Prosječno je kratko rezano i cijepano ogrjevno drvo običnoga graba sadržavalo 5,39 % manje vode (33,81 %) nego drvo obične bukve (39,20 %).

Razlike u utrošku vremena cijepanja moguće je, osim razlikom u ostalim fizikalnim svojstvima drva, tumačiti i različitim udjelom vode istraživanih vrsta obloga energijskoga drva. Rezultati upućuju na nužnost još detaljnijega ograničenja utjecajnih čimbenika prilikom planiranja pokusa.

S obzirom na rezultate kakvoće kratko rezanoga i cijepanoga drva, a radi postizanja ujednačenih razreda kakvoće sukladno HRN EN ISO 17225-5, nužno je proizvedeno ogrjevno drvo prilikom slaganja u palete

razvrstati u jednolične razrede dimenzija ili obaviti dodatno cijepanje. Ujednačenje dimenzija može se postići i sortiranjem ulazne sirovine. Značajno povećanje kakvoće, a time i cijene istraživanoga ogrjevnoga drva moguće je postići optimiziranjem prirodnoga prosušivanja sirovine ili proizvoda radi dostizanja 25 % i manje udjela vode. No, i sortiranje ulazne sirovine i prirodno prosušivanje zahtijevaju jednoličnu i stalnu dobavu dostatne količine sirovine.

## 6. Literatura – References

- Bojanin, S., A. P. B. Krpan, J. Beber, 1990: Utrošak goriva i maziva motorne lančane pile Stihl 056, kod obaranja stabala, izrade sortimenata tehničke oblovine i jednometarskog prostorna drva u zrelih sastojinama hrasta lužnjaka. Šumarski list, 114(6–8): 261–271.
- Cavalli, R., S. Grigolato, A. Sgarbossa, 2014: Productivity and quality performance of an innovative firewood processor. Journal of Agricultural Engineering, 45(1): 32–36.
- HRN EN ISO 17225-5:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 5: Graded firewood. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–15.
- HRN EN ISO 18134-2:2015 Solid biofuels – Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method. Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 1–9.
- Kärhä, K., A. Jouhio, 2009: Producing chopped firewood with firewood processors. Biomass and bioenergy, 33(9): 1300–1309.
- JUS D.B5.023:1979 Drvo za ogrev i suhu destilaciju. Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1–2.
- Lindroos, O., 2008: The effects of increased mechanization on time consumption in small-scale firewood processing. Silva Fennica, 42(5): 791–805.
- Manzone, M., R. Spinelli, 2014: Efficiency of small-scale firewood processing operations in Southern Europe. Fuel Processing Technology, 122: 58–63.
- Speidel, G., 1952: Das Stückmassesgesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit. Dissertation. Universität Hamburg, 1–66.
- Terzin, V., Đ. Vinković, 1983: Izrada kratko rezanog ogrjevnog drva i isporuka kupcima u kontejnerima. Šumarski list, 107(11–12): 525–535.
- Tomanić, S., 1974: Racionalizacija rada pri sječi, izradi i privlačenju drva. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–468.
- Tomičić, B., 1975: Traženje povoljnijih načina manipulacije prostornim drvetom. Šumarski list, 99(11–12): 408–420.
- Tomičić, B., 1983: Utjecaj tehnologije i organizacije na proizvodnost i mehaniziranost radova u iskorišćivanju šuma. Zbornik radova Savjetovanja Mehanizacija šumarstva u teoriji i praksi, S. Sever (ur.). Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Opatija, 81–90.
- Tomičić, B., 1984: Proizvodnja sitnog industrijskog drva za mehaničku i kemijsku preradu. Mehanizacija šumarstva, 9(7–8): 147–157.

Vusić, D., A. Đuka, 2015: Značajnost šumske biomase kao obnovljivog izvora energije – utjecaj na sustave pridobivanja drva u Hrvatskoj. Zbornik savjetovanja CROJFE 2015. – Sadašnje stanje i budući izazovi. Zagreb – Zalesina, 18. – 20. ožujka.

Vusić, D., Ž. Zečić, M. Smetko, 2015: Učinkovitost mehanizirane izrade kratko rezanoga i cijepanoga ogrjevnoga drva. Nova mehanizacija šumarstva, 36(1): 53–62.

---

## Abstract

---

### *Analysis of Factors Affecting Mechanized Production of Chopped Firewood*

*The aim of the research was to explore in detail the impact of selected features of the raw material (diameter of energy roundwood and wood species/water content) on the efficiency of individual work elements; especially cross-cutting and splitting, which are, based on the results of previous research, expected to have a correlation with these raw material features.*

*In order to determine the efficiency of Posch Spaltfix S-360 firewood processor in mechanized production of chopped firewood, a method of continuous chronometry was applied. Time consumption was determined and analyzed providing work elements of effective time and delays. Multiple regression analysis was used to investigate the dependence of time consumption of individual work elements on the round fuelwood diameter and wood species/moisture content. A model for the calculation of firewood processor productivity was developed based on the significant influence parameters.*

*The study found that the diameter of the energy roundwood has a positive effect on productivity of the investigated processor Posch Spaltfix S-360 in accordance with the »piece-size law«. In addition to the positive impact on productivity, a statistically significant effect of energy roundwood diameter on the increase of time consumption for work element cross-cutting was determined.*

*The opportunity for a substantial increase in quality, and thus the price of fuel wood, lies in optimizing the natural drying of raw material in order to achieve 25% or less of water content. However, both the natural drying and sorting of input raw material for the purpose of uniforming the final product dimensions require uniform and constant supply of sufficient raw materials.*

*The research results should be used to optimize the production system whose backbone is the investigated processor, but also to point out the general principle of the impact of selected features of raw material to the expected productivity of chopped firewood production by firewood processors.*

*Keywords: diameter, cross-cutting, splitting, European beech, European hornbeam, product quality*

---

Adresa autorâ – Authors' address:

Dino Friščić, mag. ing. silv.  
e-pošta: dino.frisic1991@gmail.com  
Varaždinska 2, Dubrava Križovljanska  
42208 Cestica  
HRVATSKA

Prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky  
e-pošta: porsinsky@sumfak.hr  
Izv. prof. dr. sc. Željko Zečić  
e-pošta: zecic@sumfak.hr  
Dr. sc. Dinko Vusić \*  
e-pošta: vusic@sumfak.hr  
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije  
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu  
Svetošimunska 25  
10 000 Zagreb  
HRVATSKA

\* Glavni autor – Corresponding author

Primljeno (Received): 30. 09. 2016.  
Prihvaćeno (Accepted): 18. 10. 2016.